



接触における能動性の有無が知覚閾値に及ぼす影響*

原田隆之¹⁾・平井達也¹⁾・千鳥司浩²⁾・渡邊紀子¹⁾・星野雅代¹⁾・井上大輔¹⁾・
上野愛彦¹⁾・田中知美¹⁾・木村友一¹⁾・村雲聡江¹⁾・下野俊哉³⁾

【要 旨】

本研究の主目的は、触圧覚検査において接触における能動性の有無が知覚閾値に及ぼす影響を明らかにすることである。対象は健常若年成人15名(平均年齢23.5±2.5歳)とし、Semmes-Weinstein Monofilamentを使用して実験者がモノフィラメントを接触させる受動的条件と、対象者が動的にモノフィラメントへ接触する能動的条件の2条件で触圧覚知覚閾値を評価し、再現性と知覚閾値について検討した。結果は、両条件ともに1回目と2回目の結果が2段階以内であり再現性に問題はないと考えられた。知覚閾値においては能動的条件の方が低い値であった者が有意に多かった。以上のことから、触圧覚の定量的検査として再現性は良好であること、知覚閾値は能動的条件が受動的条件より低いことが示唆された。

キーワード：感覚検査・Semmes-Weinstein Monofilament・知覚閾値

はじめに

19世紀末に触覚研究が始まって以来、触覚は受身の状態で皮膚に加わる圧の問題であると考えられてきた。そのため従来、知覚と運動は切り離して個別的に研究が進められてきた¹⁾。特に生理学の分野では、感覚様式個々に対応した受容器が発見され、感覚は受身の過程としてとらえられてきた(要素感覚理論)²⁾。1951年には脳外科医のペンフィールド³⁾が、覚醒したヒトの脳外科手術中に大脳皮質を電気刺激し、運動が生じる領野と感覚が生じる領野が異なることを実証した。このような要素感覚理論という概

念と、中枢における運動野、感覚野といった機能局在論的概念により、受動的な感覚検査が、現在のリハビリテーションにおいても主流となっている。

しかし、近年知覚と運動を切り離して考える概念に対して、反証的研究報告が数多く提出されている。内藤ら^{4,5)}は、適切な周波数(80Hz付近)の振動刺激を皮膚上から四肢の腱に加えると、自ら運動せずともあたかも四肢が動いたかのような運動錯覚を惹起でき、その際に、脳の運動関連領域が活動したと報告している。従来まで、四肢からの体性感覚情報処理には一次体性感覚野を中心とした体性感覚領野のネットワークが主に関与すると考えられてきたが、これらの研究は、四肢の筋紡錘からの運動感覚情報処理(四肢運動知覚)には、体性感覚野のみならず一次運動野を中心とする運動領野のネットワークが重要であることを示している。知覚における接触方法について岩村⁶⁾は、被験者の皮膚では触・圧・温覚受容器を個別に刺激する事も可能であるが、これは日常生活では起こらないこと、外界を知覚するために能動的に触れることを指摘している。J.J.Gibson⁷⁾も同様に、環境の知覚において能動的触覚(アクティブタッチ)の重要性を提唱している。つまり、私たちは多くの感覚器を通じて得られた外界の情報を基に運動しており、また、外界の情報を得るために運動をすることで様々な運動が可能となるということ

* Influence of the activeness on perceptual threshold in healthy adult subjects.

- 1) 医療法人田中会西尾病院リハビリテーション科
Department of Rehabilitation, Nishio Hospital
Takayuki Harada, RPT. Tatsuya Hirai, RPT.
Noriko Watanabe, RPT. Masayo Hoshino, RPT.
Daisuke Inoue, RPT. Naruhiko Ueno, RPT.
Tomomi Tanaka, OTR. Yuichi Kimura, OTR.
Satoe Murakumo, ST.
- 2) 中部学院大学リハビリテーション学部
Chubu Gakuin University
Kazuhiro Chidori, RPT.
- 3) 星城大学リハビリテーション学部
Seijoh University
Toshiya Shimonono, RPT

である(知覚運動連環)。

このことから、運動を扱うリハビリテーションにおいて受動的な知覚検査のみでは一面的な評価にしかならず、能動的な知覚がより重要であり、十分に研究されるべきテーマであると考えられる。

しかし、能動的な知覚についての研究は、受動的な知覚以上に様々な影響される要因があることから取り組むことが難しく、現在まであまり行なわれていない。能動的知覚の研究報告は、テクスチャーや形の知覚⁹⁾といった質的評価のみで、定量的評価の報告は我々が渉猟しえた範囲ではみられない。

また、触覚の評価の信頼性についても十分に検討されているとは言いがたい。現在、推奨されている受動的触覚検査の方法論的問題は少なくとも2点考えられる。一つ目は、既存の受動的な閾値検査方法⁹⁾においては、刺激が分かるか分からないかの2件法であるため偶然に当たる可能性(チャンスレベル)が生じうるということである。二つ目としては、検査結果から求める知覚閾値の判断基準が報告によって様々で統一されておらず、各々の方法に対する信頼性が検討されていないということである。モノフィラメントを用いた先行研究の判断基準では、3回刺激し3回とも知覚可能を閾値とするものや¹⁰⁾、3回刺激し2回の知覚可能で閾値とする¹¹⁾報告がある。臨床においては正確な検査結果が要求されるべきであるにも関わらず、方法論的問題が検証されておらず、信頼性・妥当性について解決する必要があると考えられる。

そこで本研究の目的は、触覚の定量的検査方法について吟味するとともに、受動的条件と能動的条件での知覚閾値の違いについて検討することとした。

対象

対象は、皮膚に異常がなく神経学的疾患がない健康常若年成人15名(平均年齢 23.5 ± 2.5 歳)とした(表1)。対象者には、本研究の主旨を説明し同意を得た。

表1. 対象者の基本情報

年齢	性別	利き手
23.5 ± 2.5 歳	男:女=6:9	右手15名

方法

対象者は、静かな個室にて安楽座位をとり、前腕回内位にて前腕および示指以外の手指を机上に設置した台に置き、アイマスクにて遮眼した



図1. 実験環境

(図1)。検査部位は、事前にマーキングした利き手の示指指腹中央部とした。検査器具は、Christy Manufacturing社製Semmes-Weinstein Monofilament 20本セット(以下SWM)を用いた。SWMは、触圧覚の検査として臨床で広く使われており、検査部位へ1本のフィラメントを接触させ接触の有無を答えさせる検査器具である。20本セットの場合、製品番号No.1.65からNo.6.65までであり、製品番号によって加わる力が段階付けされている。製品番号は、力(g)を対数変換した値であり、順序は等間隔ではない。また、製品番号が大きくなるに従い加わる力が大きくなっていく様に作られており、知覚閾値を定量的に示すことが出来るとされる検査器具である。

接触条件は、受動的な接触(以下、P条件)と能動的な接触(以下、A条件)とし、P条件では、中間位で静止している示指に対して、検者が検査部位へと接触させた。A条件では、対象者に示指MP関節のみの動きを行わせ、それに対して検者が調整し検査部位へと接触するようにした(図2)。接触方法について事前に行ったpilot testより、検査結果に与える影響因子として以下の4点が考えられた。①スピード:速くなることによって、接触位置がバラつきやすく、物理的にも $力 = 質量 \times 加速度$ の公式から圧も変化することが予想された。②接触部位:部位によって感受性は異なる¹²⁾。③検者:実施方法のバラつきがある。④疲労:精神的・身体的疲労による集中力の低下。これら4点の影響に対して、可能な限りゆっくりとした速さで、マーキングした部位へと接触するように対処した。検者による影響に対しては、全ての検査を同一検者が行うようにした。また、疲労の影響に対して各条件の検査前後に精神的・身体的疲労感をnumeric rating scaleにて10段階で答えさせ、著明な変動が

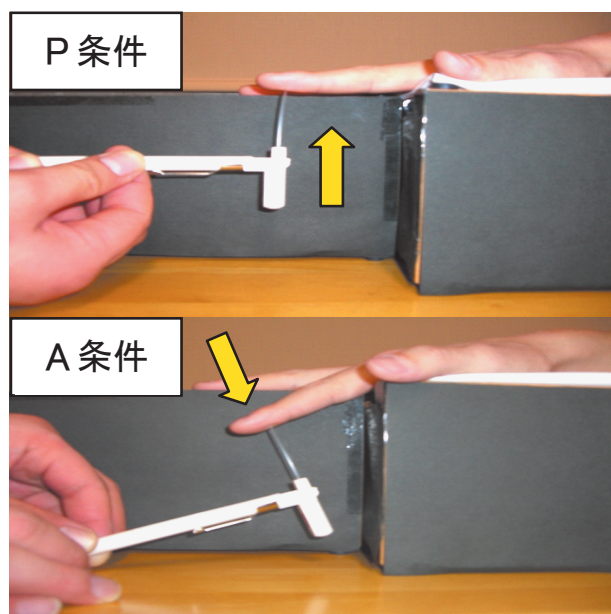


図2. 各条件の接触方法

あった場合は検査を中止するようにした。

実験手順は、SWM20本中最小である製品番号 No.1.65から5回ずつ(うち2回は無作為に接触なし)計測し、No.1.65→No.2.36→No. 2.44→No.2.83…と1段階ずつ上昇させていった。教示内容は、「触るときと、触らないときがあります。触った感じがあればすぐに返事をしてください。」とし、5回すべてにおいて「今はどうでしたか」と質問した。回答方法に関しては、チャンスレベルの問題を考慮し、知覚の可否をより厳密に評価するため、5回中3回を接触有り、2回を接触無しに分け、さらに「触った」「触っていない」の2択では偶然に正答する確率が50%であるため、「分からない」を選択肢に入れることでチャンスレベルを低くした。P条件とA条件を交互に、また、対象者毎にランダムに計2試行ずつ実施した。知覚閾値の定義は、接触の有無を2段階連続で100%識別可能であった値とし、1回目と2回目異なる場合は高い値を選択した。得られた知覚閾値を、SWMに付属されたグラム換算表に基づき製品番号を対応する力(g)に換算した。データの扱いに関して、通常、力(g)は比率尺度であり、数値データとして扱うことが可能であると考えられるが、SWMは20本の20段階で、その段階の間隔は一定でないこと、及び方法として下の段階(細いSWM)から刺激を開始する上昇法のみで検査を行っているため、順序尺度として扱うものとした。データ分析は、1)再現性：各条件の1回目と2回目の値の比較、2)知覚閾値：各条件をウィルコクソン符号付順位和検定にて比較した。また、得られた知覚閾値を中央値で分け、各条件

の人数分布の違いを χ^2 検定にて解析し、Yatesの補正をおこない検討した。両検定とも、有意水準は5%未満とした。

結果

1)再現性(表2)

2回の測定値を比較し、P条件では差なしが9名、1段階の差が6名であった。A条件では、差なしが3名、1段階の差が11名、2段階の差が1名であった。

表2. 各条件における1回目と2回目の測定の変動

	差なし	1段階	2段階
P条件	9名	6名	0名
A条件	3名	11名	1名

2)知覚閾値

個々の対象者でP条件とA条件の知覚閾値を比較したところ、P条件の方が低値1名、A条件の方が低値7名、差異なしが7名であった。中央値では、P条件0.161gでA条件0.072gであり、有意差($p < .05$)が認められた(表3)。また、P条件とA条件の閾値を中央値0.161g以上と0.072g以下に分けた際の人数分布に有意差($p < .05$)が認められた(表4)。

尚、精神的・身体的疲労感は、numeric rating scaleにて全対象者の最小値と最大値の変動が3段階以内であった。

表3. 各条件の閾値

	中央値	最小値	最大値	最頻値
P条件	0.161	0.039	0.161	0.161
A条件	0.072		0.161	0.072

単位：グラム(g) * : $p < .05$

表4. 両条件における閾値の人数分布

	0.072g以下	0.161g以上
P条件	2名	13名
A条件	9名	6名

Yatesの補正 : $p < .05$

考察

本研究結果より、健常若年成人においては、能動的な接触は受動的な接触に比べて、知覚閾値が低い事が定量的に示された。この結果に対して、

以下に考察する。

定量的検査方法について

冒頭で述べたように従来の知覚閾値の決定において、チャンスレベル、判断基準といった点での方法論的問題が考えられた。そのため本研究では、事前に問題点を考慮した上で知覚閾値を評価した。その結果、本研究の受動的条件の知覚閾値の中央値はNo.3.22であった。Bell-Krotoski¹³⁾は、触覚の正常をNo.2.83と定義しており、本研究結果は、1段階閾値が高い結果となった。その理由としては、チャンスレベルを低くした点、知覚閾値の判断基準を2段階連続で100%識別可能であった値を設定した点が推測出来た。

再現性について

SWMは手の知覚評価に対し広く用いられ、既存の検査法の中で刺激の定量化とその再現性という点で最も優れ、信頼できる検査法であると述べられている¹⁴⁾。しかし、我々が渉猟しえた範囲内で、SWMの信頼性や再現性について、本邦で原著論文として報告されたものはみられない。奥村ら¹⁵⁾は健常成人28名の拇指から小指の指腹中央部、計280指を対象に再現性について報告している。結果は、2段階以内の変化が96.8%を占めており、この間の変化は被験者の精神状態、集中度、学習効果が要因となって現れうる結果である、と推測している。その点に対して、本研究では疲労感が大きく変動する者はみられず、疲労の影響は除外されていると考えられる。その結果、本研究においても、両条件ともに全対象者2段階以内の変化であり、本検査方法の再現性は比較的高いと考えられた。

条件の違いによる知覚閾値への影響について

本研究において、得られた閾値を中央値で分割し、人数の分布を検討したところ、能動的に接触する条件の方が、低い閾値を示す者が多くなり、能動的な条件は受動的な条件より触圧覚の感受性が高くなることが示唆された。一般に受動と能動の条件の違いは、動きを伴うか否かであり、筋、腱、関節などの固有受容器の興奮の有無であると考えられる。しかし、本研究で行った受動的な条件においては示指を中間位に保つ必要があるため筋活動は生じていると考えられた。また、能動的な条件においても可能な限りゆっくり動かすことで、筋活動は最小限に抑えられたと考えられた。さらに、SWMの刺激は非常に微小であるため関節に対する抵抗は少なく、SWMが接触することによる関節への回転運動(モーメント)

や筋・腱受容器に伸張が発生することは少ないと考えられた。これらのことから、今回の研究結果においては、知覚閾値に対する筋・腱の固有受容器、関節のメカノレセプターなど、末梢レベルの影響は少ないと考えられる。

中枢神経系における処理過程について

一方、中枢レベルで知覚閾値に及ぼした影響としては、運動の準備状態の有無が考えられる。能動的な条件は運動の意図を伴う事による運動準備電位、遠心性コピーの働きが生じると考えられた。DeeckeとKornhuber¹⁶⁾は、自発的な随意運動を自分のペースで行なわせた場合に運動開始から約1秒も先行して陰性緩電位が生じていることを記録し、運動準備電位(Bereitschaftspotential:BP)と名付けた。運動の準備状態では、刺激受容に対する知覚的準備(perceptual set)と運動準備(motor set)の二つの脳内内的過程が処理されていると考えられている。知覚的準備とは、信号の予測により選択的注意や覚醒度合いなどを高めることによって、信号の知覚・検出など、知覚過程の効率を高めることである。運動準備とは、この後行うべき運動の様式にあわせて、運動の計画や構成をおこなったり、または運動の出力にかかわる器官の効率を高めたりする過程である¹⁷⁾。本研究における条件間の違いは、この様な準備状態の違いであると考えられた。

遠心性コピー(efference copy)は運動指令の一部が体性感覚野へ投射され、筋活動より先行して体性感覚野が活動する事によって知覚過程に影響を及ぼす可能性が指摘されている。遠心性コピーが体性感覚野へ投射されているかどうかについて、Soso MJら¹⁸⁾は無麻酔のサルを訓練して、自発的に肘の屈伸を行わせた時の、上腕筋の筋活動と体性感覚野のニューロンの発火の時間的な関係を調べた。結果は、能動性の違いにより、感覚野の閾値が変化することが示され、体性感覚野に対する遠心性コピーの影響が想定される。本研究の結果も、この遠心性コピーの有無による閾値の違いが影響しているのではないかと考えられた。以上のことから、能動的な接触と受動的な接触は、中枢神経系の処理過程に差異を生じ、そのことが、知覚閾値に影響を与えていると考えられた。

今後の課題

本研究方法では、SWM使用にあたって上昇法のみで行ったため、データを順序尺度として扱った。そのため、データ解析が限定され受動的な接触と

能動的な接触の違いによる閾値の差を、客観的に判断する決定力に欠けた。今後、様々な方法で閾値測定信頼性を検証し、その上で、条件による変動について検討する必要がある。また、結果においては、脳波、fMRI等を用いて脳内活動を観察していない点、筋電図を用いて筋活動の影響の有無を検討していない点などから、考察で述べた内容はあくまでも推察であり、今後検証される必要がある。信頼性では検者1名でしかデータを取っておらず検者間信頼性を検討していない。今後、複数の検者で行い信頼性の検討をしていく必要があると思われる。また、一般的に、高齢になるにつれて感覚受容器の減少等で知覚閾値は高くなると言われている¹⁹⁾が、受動的な接触と能動的な接触での知覚閾値を検討している報告はみられないため、加齢の影響についても検証していく必要がある。

まとめ

今回、健常若年成人においてSWMを用い、能動的条件と受動的条件での知覚閾値について評価した。結果、再現性は良好であり、能動的な接触は受動的な接触より知覚閾値が低い事が定量的に示された。その要因としては、運動を伴うことによる脳の処理過程の違いの影響が考えられた。今後は、信頼性をさらに高めるための方法について検討し、高齢者を対象に加えて加齢が知覚閾値にどのような影響を及ぼしているのかを検討していく必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 乾 敏郎：知覚と運動。乾 敏郎(編)，認知心理学 知覚と運動，東京大学出版会，1995，pp1-13.
- 2) 岩村吉晃：タッチの感覚。山鳥 重，彦坂興秀・他(編)，神経心理学コレクション タッチ，医学書院，2001，pp1-24.
- 3) Penfield W, Welch K: The supplementary motor area of the cerebral cortex, a clinical and experimental study. Archives of Neurology: Psychiatry, 66: 289-317, 1951.
- 4) Naito E, Ehrsson HH: Kinesthetic illusion of wrist movement activates motor-related areas. Neuroreport 12: 3805-3809, 2001.
- 5) 内藤栄一：身体運動像の獲得に体性感覚入力が果たす役割—ニューロイメージング研究から—。バイオメカニズム学会誌31: 178-185, 2007.
- 6) 岩村吉晃：タッチの生理学。理学療法17: 893-900, 2000.
- 7) Gibson JJ: Observations on active touch. Psychol Rev 69: 477-491, 1962.
- 8) Heller MA, Rodgers GJ, Perry CL: Tactile pattern recognition with the Optacon; Superior performance with active touch and the left hand. Neuropsychologia 28: 1003-1006, 1990.
- 9) 中田眞由美，岩崎テル子：知覚の評価。知覚をみる・いかす—手の知覚再教育—，協同医書出版社，2007，pp54-57.
- 10) 山崎和博：高齢者の足底感覚の特徴—Semmes-Weinstein Monofilamentsでの検討—。理学療法学33: 320, 2006.
- 11) 坂田祥子：脳卒中片麻痺患者の触覚検査 - 毛筆とSW知覚テスターを用いた検査結果の検討 -。作業療法19: 290, 2000.
- 12) A.Lee Dellon, M. D：手の知覚検査。知覚のリハビリテーション—評価と再教育—，協同医書出版社，1996，pp161-180.
- 13) Bell-Krotoski JA：Sensibility testing with the Semmes-Weinstein monofilaments. In: Mackin EJ, et al (ed), Rehabilitation of the hand and upper extremity, 5th ed, C. V. Mosby, St. Louis, 2002, pp194-213.
- 14) 中田眞由美：手の知覚検査。OTジャーナル 28: 737-739, 1994.
- 15) 奥村修也：Semmes-Weinstein Aesthesiometerの再現性に関する検討。作業療法14: 154, 1995.
- 16) Deecke L et al: Distribution of readiness potential, pre-motion positivity, and motor potential of the human cerebral cortex preceding voluntary finger movements. Exp Brain Res, 7: 158-168, 1969.
- 17) 武井智彦：脳における運動の準備状態。西平賀昭，大築立志(編)，運動と高次神経機能—運動の脳内機能を探検する—，杏林書院，2005，pp23-28.
- 18) Soso MJ, Fetz EE：Responses of identified cells in postcentral cortex of awake monkeys during comparable active and passive joint movements. J Neurophysiol 43: 1090-1110, 1980.
- 19) 岩村吉晃：老化と触覚・振動覚。セラピストのための基礎研究論文集2 生存と自己表現のための知覚，協同医書出版社，2000，pp125-134.